

Olimpiadi di Fisica 2017



Gara Nazionale
Prova Sperimentale

Giovedì 20 Aprile 2017

Liceo Statale "Medi"
Senigallia (AN)

Non sfogliare questo fascicolo
finché l'insegnante non ti dica di farlo.
Leggi **ATTENTAMENTE** le istruzioni!

ISTRUZIONI:

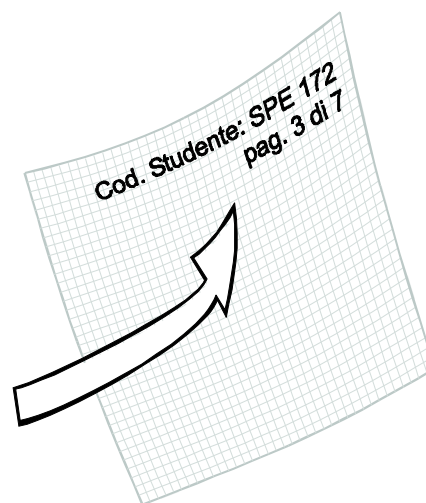
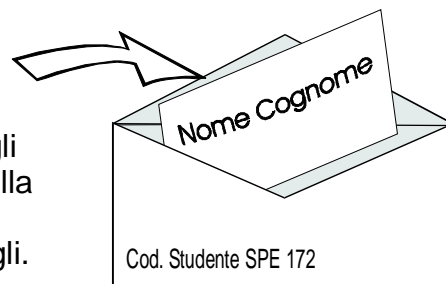
Tempo: 4 ore

1. Appena ti verrà dato il via, scrivi chiaro il tuo **NOME e COGNOME sul cartoncino** che hai ricevuto insieme ai fogli e alle buste, grande e piccola; poi inserisci il cartoncino nella busta piccola e chiudila. Metti subito la busta chiusa in quella grande, che userai alla fine per consegnare tutti i fogli.

Successivamente, NON dovrai scrivere il tuo nome su nessun foglio né sulle buste, ma solo il tuo Codice Studente !

2. Leggi con cura il testo della prova.
3. Su ogni facciata scrivi chiaramente in alto a destra:
 - il tuo Codice Studente
 - il numero di pagina
 - il numero totale di pagine usate.

Per esempio: *pag. 3 di 7*



La Gara Nazionale è realizzata con il sostegno di

Istruzioni generali

Ti consigliamo di leggere attentamente tutto il testo seguente prima di iniziare a lavorare con i materiali.

Non ti si chiede una relazione di laboratorio, ma solamente una serie di risposte da scrivere nei fogli appositi.

Ogni risposta deve avere una sua giustificazione sintetica e chiara, anche se non è chiesto esplicitamente nella domanda.

Se, per migliorare una misurazione, adotti accorgimenti significativi, registrati nel corrispondente foglio risposte.

Al termine della prova inserisci i fogli con le risposte e la minuta nell'apposita busta da consegnare.

Premessa

Dove è possibile, valuta le incertezze delle misure attraverso gli scarti tra i valori sperimentali, come per esempio la semidispersione, cioè la semidifferenza tra i valori massimo e minimo, oppure lo scarto medio dalla media, o altro. Conviene, anche per ragioni di tempo a disposizione, evitare lunghi calcoli attraverso formule di propagazione delle incertezze.

La prova si articola in due parti. Nella prima si chiede di studiare il movimento di una rondella e di un magnete a disco su uno scivolo di alluminio, nella seconda si chiede di studiare il campo magnetico del magnete a disco in condizioni statiche.

ATTENZIONE! Il magnete a disco in esame è molto potente. Tienilo lontano dai due magnetini rossi e da oggetti ferromagnetici. Oltre a causare fastidiosi pizzichi alle tue dita, nell'urto con gli oggetti attirati il magnete si può scheggiare, e comunque è difficile poi staccarlo. Se per qualche motivo, c'è bisogno di sostituire il magnete, sarà necessario rifare le misure, poiché i magneti sono diversi l'uno dall'altro. Quando non usi il magnete a disco lascialo nella sua custodia e riconsegnalo alla fine della prova.

Annota negli appositi spazi dei fogli risposte il numero scritto sui due magnetini rossi e quello sulla custodia del magnete a disco.

Materiali e informazioni

- canalina ad U di alluminio, di lunghezza 1 m circa, di spessore 2 mm, con base 40 mm
- magnete al neodimio a forma di disco, con diametro 18 mm, spessore 3 mm, polo N e S rispettivamente sulle due facce piane, massa 5.6 ± 0.1 g. Annota il numero del magnete nel foglio risposte
- rondella di ottone, diametro esterno 18 mm
- goniometro
- gomma adesiva
- nastro adesivo trasparente
- due scatole di sale da usare come appoggio e come fermo per la canalina
- cronometro manuale che può memorizzare un tempo intermedio. Dei tre pulsanti vanno usati solo il pulsante S a sinistra, il pulsante D a destra. Se vuoi misurare un solo tempo e poi azzerare, premi in sequenza D – D – S. Se vuoi misurare anche un tempo intermedio, premi, per la misurazione: D – S – D e leggi il primo tempo; premi S per leggere il secondo tempo; poi azzeri con S
- pennarello a punta fine, per indicare tratti di uguale lunghezza sullo scivolo
- squadra millimetrata
- metro di carta
- due magnetini rossi. Annota il numero dei magneti nel foglio risposte
- 3 m circa di filo da cucito
- molletta da bucato per sostegno del magnete a disco
- stecco di bambù per sostegno della coppia di magneti rossi
- sedia per sostenere la canalina
- batuffolo di cotone con alcol per pulire la canalina
- Cartone rettangolare da porre sul pavimento
- 2 guanti di lattice per maneggiare il magnete a disco
- 2 laccetti di filo di ferro plasticati, per recuperare il magnete dalla base della canalina.

MOVIMENTO DI UNA RONDELLA E DI UN MAGNETE A DISCO SU UNO SCIVOLO DI ALLUMINIO

Una canalina ad U di alluminio con la concavità verso l'alto e opportunamente inclinata farà da scivolo per la rondella di ottone e per il magnete a disco; i due bordi li ripareranno da cadute accidentali. Un pacchetto di sale può servire da fermo per lo scivolo.

Passa il batuffolo di cotone imbevuto di alcol sulla faccia piana della canalina, nella parte concava, per togliere tracce di sporco o di polvere.

Taglia un pezzo di filo lungo 15 o 20 cm, fallo passare nel foro del goniometro, e fissa 2 o 3 cm di filo sul retro del goniometro stesso con nastro adesivo. Appendi un fermaglio da carta all'altra estremità del filo, che così diviene un filo a piombo. Questo, situato davanti al goniometro, farà da indice per la lettura delle inclinazioni dello scivolo. Attacca il goniometro al bordo dello scivolo per mezzo di piccole quantità di pasta adesiva. Ad inclinazione 0° , con scivolo adagiato sul piano orizzontale del tavolo da considerare orizzontale, dovrà corrispondere l'indicazione 90° .

Per piccole inclinazioni dello scivolo fino a circa 30° o 40° , puoi usare come sostegno il pacchetto di sale; come in figura 1 a, per inclinazioni maggiori usa la sedia posta sul tavolo, come appoggio della canalina, come indicato in figura 1 b.

Sistema la canalina con un'inclinazione tale da permettere a rondella e magnete di scivolare giù lungo la canalina stessa. Come puoi notare, il magnete procede più lentamente della rondella. Questa è frenata nella discesa dalla forza di attrito radente dinamico, mentre sul magnete si aggiunge alla forza di attrito radente dinamico, un'ulteriore forza frenante F_f dovuta al fenomeno dell'induzione elettromagnetica.

Nel seguito assumeremo che la forza F_f abbia la stessa direzione della velocità \vec{v} del magnete sullo scivolo, verso opposto, intensità direttamente proporzionale a quella della velocità v , cioè, in sintesi, $\vec{F}_f = -k \vec{v}$ con k costante positiva. Si deve ritenere trascurabile la componente della forza \vec{F}_f perpendicolare alla guida.



Figura 1a



Figura 1b

- 1 – Poni la rondella sullo scivolo inclinato e descrivine qualitativamente il movimento. Esegui un numero congruo di misure che ti permettano di determinare il coefficiente di attrito dinamico μ_r tra la faccia piana della rondella e la superficie dello scivolo. Descrivi e giustifica il procedimento sperimentale seguito e le relazioni utilizzate per determinare μ_r . (25 punti)

- 2 – Poni il magnete con la faccia piana sullo scivolo inclinato.
- Osserva e descrivi il moto del magnete.
 - Effettua misure delle distanze percorse dal magnete sullo scivolo durante la discesa e degli intervalli di tempo necessari a percorrerle, per almeno sei inclinazioni diverse nel più ampio intervallo di inclinazioni della guida che puoi realizzare. Riporta i risultati in una tabella.
 - Determina il coefficiente di attrito radente dinamico μ_m tra la faccia piana del magnete e quella dello scivolo, e la costante k della relazione $\vec{F}_f = -k \vec{v}$
 - Descrivi e giustifica il procedimento sperimentale seguito e le relazioni utilizzate per determinare μ_m e k . (75 punti)

CAMPO MAGNETICO DEL MAGNETE A DISCO IN CONDIZIONI STATICHE

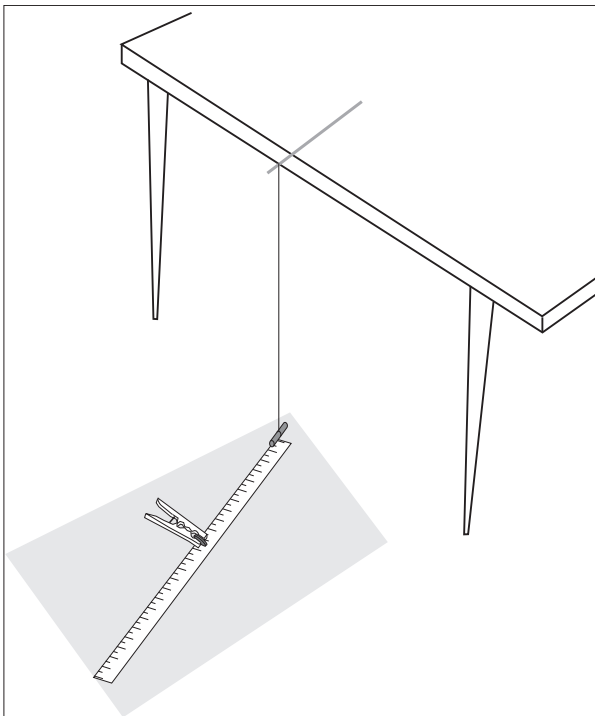


Figura 2

Taglia un pezzo di filo da cucito lungo circa 1 m. Avvolgilo e fissalo ad una estremità allo stecco di bambù fissato al piano del tavolo con nastro adesivo. Poni il cartone sul pavimento sotto il filo. Fa' in modo che l'estremità libera del filo sia distante uno o due centimetri dal cartone. Stringi l'estremità inferiore del filo tra i poli dei due magneti rossi che si attraggono. La coppia dei due magneti rossi equivale ad un unico magnete. (v. figura 2).

Se le gambe del tavolo ed il magnete a disco sono il più lontano possibile, la coppia di magneti rossi tende a disporsi nella direzione del campo magnetico in cui si trova, in questo caso nel campo magnetico terrestre. Il metro di carta va fissato al cartone sul pavimento con nastro adesivo, e disposto lungo la direzione assunta dalla coppia di magneti rossi, cioè nella direzione del campo magnetico terrestre. Convien sistemare lo "0" della scala millimetrata proprio sotto il centro del magnete unico costituito dai due magneti rossi.

La coppia di magneti rossi, se viene ruotata di poco, di 10° al massimo, rispetto alla direzione di equilibrio, compie oscillazioni sincrone attorno a quella direzione, con un periodo T che vale

$$T = 2\pi \sqrt{I/(MB)} \quad (1)$$

Nella (1) I è il momento d'inerzia della coppia di magneti rossi rispetto ad un asse per il punto di sospensione al suo centro, M è il suo momento magnetico che è una proprietà caratteristica del magnete unico formato dai due magneti rossi, B è la componente orizzontale del campo magnetico in cui si trova, parallela al piano delle oscillazioni.

Posiziona il magnete a disco sul cartone, con le due facce piane verticali, stringendolo nella molletta da bucato. Regola la lunghezza del filo avvolgendolo o svolgendolo sullo stecco di bambù, in modo che la coppia di magneti rossi sia all'altezza del centro del magnete a disco.

Sistema ora il magnete a disco come è mostrato nella figura 2, sul metro di carta, ad una distanza di una trentina di centimetri dalla coppia oscillante dei magneti rossi.

Avvicina di poco il magnete, spostandolo lungo il suo asse e osserva come il periodo delle oscillazioni viene modificato. Ora la coppia di magneti rossi è immersa anche nel campo \vec{B}_m del magnete a disco, che è diretto lungo l'asse del dischetto. Questo si somma vettorialmente con il componente orizzontale \vec{B}_T di quello terrestre dando luogo ad un campo risultante orizzontale $\vec{B} = \vec{B}_m + \vec{B}_T$

ATTENZIONE!

- Se il magnete a disco è molto vicino, a meno di 15 cm, ai due magnetini rossi, questi sono sollecitati, oltre che da una coppia, anche da una forza \vec{F} che tende a spostarli lungo la direzione di \vec{B} , verso i punti dove maggiore è l'intensità di \vec{B} . Effettuando le misure assicurati che l'effetto di questa forza sia trascurabile.
- I due magneti rossi appesi costituiscono anche un pendolo semplice, le cui oscillazioni nel piano verticale possono disturbare le misure richieste, che riguardano invece le oscillazioni della coppia di magneti rossi nel piano orizzontale. Gli eventuali battimenti o la risonanza tra i due tipi di oscillazioni sono da evitare.

Ora allontana il più possibile il magnete a disco dalla coppia di magneti rossi, così che si possano ritenere questi immersi nel solo campo magnetico terrestre.

3 – In questa situazione qual è la misura del periodo di oscillazione T_0 della coppia di magneti? Che lunghezza dovrebbe avere un pendolo semplice per avere lo stesso periodo? (15 punti)

Sistema opportunamente il magnete a disco nella molletta di supporto in modo che il suo asse sia orizzontale, e parallelo a \vec{B}_T . Così il campo magnetico \vec{B}_m , che nei vari punti dell'asse del magnete a disco è diretto lungo l'asse stesso, è parallelo o antiparallelo al componente orizzontale \vec{B}_T del campo magnetico terrestre.

Determinerai il corrispondente periodo di oscillazione T per diversi valori della distanza z fra il centro del magnete a disco e il centro della coppia di magneti rossi.

Effettuando le misure assicurati di operare nelle condizioni per cui l'effetto della forza \vec{F} sulla coppia di magneti sia trascurabile.

Nel seguito prenderai in considerazione solo il rapporto B_m/B_T , il che equivale a scegliere come unità di misura per \vec{B}_m il modulo del componente orizzontale \vec{B}_T del campo terrestre.

4 – Esprimi con una formula la relazione tra B_m/B_T e i periodi T_0 e T , nel caso in cui i due vettori \vec{B}_m e \vec{B}_T siano concordi e nel caso siano discordi. (15 punti)

In analogia con il campo prodotto da una spira circolare percorsa da corrente, assumiamo che il rapporto B_m/B_T nei vari punti dell'asse del magnete, dipenda dalla distanza dal bordo del disco secondo la relazione

$$B_m/B_T = A \left(\sqrt{R^2 + z^2} \right)^x \quad (2)$$

Nella formula, R è il raggio della base del disco, z la distanza del punto considerato dal centro del magnete, A è costante rispetto a z .

5 – Esegui ora le seguenti operazioni:

- Misura i periodi di oscillazione variando la distanza z . Riporta le misure in tabella.
- Determina il valore dell'esponente x , con cui la formula (2) si adatta meglio all'andamento sperimentale di B_m/B_T .
- Descrivi e giustifica i procedimenti seguiti.
- Dichiarare, nella apposita sezione del foglio risposte, come hai verificato che l'effetto della forza \vec{F} sia trascurabile. (70 punti)

————— • —————
Materiale elaborato dal Gruppo



PROGETTO OLIMPIADI
Segreteria delle Olimpiadi Italiane di Fisica
e-mail: segreteria@olifis.it
WEB: www.olifis.it

**NOTA BENE**

È possibile utilizzare, riprodurre, distribuire, comunicare al pubblico questo materiale alle due seguenti condizioni: citare la fonte; non usare il materiale, nemmeno parzialmente, per fini commerciali.

Associazione per l'Insegnamento della Fisica  31^a Edizione

Olimpiadi della Fisica

 Gara Nazionale sperimentale
Giovedì 20 Aprile 2017

2017

Soluzione

MOTI MAGNETICI

NOTA 1 – Nelle tabelle di questa “Soluzione” compaiono valori espressi con cifre anche non significative, con i quali sono stati effettuati i calcoli. I risultati richiesti nel testo, vengono poi arrotondati alle sole cifre significative, in base alla loro incertezza. Questa viene stimata dalla loro semidispersione.

L'idea della prima parte della prova è tratta dall'articolo [1] citato alla fine di questo testo in cui viene trattato il moto di un magnete a disco su scivoli di alluminio, con una spiegazione dell'origine della forza frenante sul magnete.

Risposta 1

Le forze applicate alla rondella sono il peso e la reazione vincolare da parte della canalina, che è un vincolo scabro. La risultante di queste forze è diretta lungo lo scivolo ed ha intensità pari a $m_r g \sin \theta - \mu_r m_r g \cos \theta$, dove con m_r si indica la massa della rondella.

L'inclinazione θ si ottiene come modulo della differenza tra l'indicazione del filo a piombo sul goniometro e quella di 90° con scivolo orizzontale.

Con il pennarello si suddivide lo scivolo in tratti di uguale lunghezza, pari a 10 cm per esempio.

Metodo 1: “moto uniforme”.

Si aumenta via via l'inclinazione dello scivolo, fino a che la rondella sollecitata da piccoli colpi con la punta di un dito sullo scivolo stesso, per vincere l'attrito statico, percorre un buon tratto di pista, almeno 20 cm, con moto che appare uniforme, trascurando l'effetto delle piccole imperfezioni presenti sullo scivolo stesso. Si assume quindi che la forza risultante sulla rondella sia nulla. Dall'equazione: $m_r g \sin \theta - \mu_r m_r g \cos \theta = 0$ si ricava $\mu_r = \tan \theta$.

Si riabbassa lo scivolo e si ripete la prova.

Vedi tabella 1 con un esempio di risultati. Gli scarti tra i valori delle inclinazioni sono dovuti a fluttuazioni dell'attrito, dovute anche ad imperfezioni locali della superficie dello scivolo.

Tabella 1: moto uniforme

Angolo θ ($^\circ$)	$\mu_r = \tan \theta$
13.0	0.230868
12.5	0.221695
12.5	0.221695
13.0	0.230868
13.5	0.240079
12.5	0.221695
14.0	0.249328
12.5	0.221695
13.0	0.230868
12.5	0.221695

$$\mu_{r, \text{medio}} = 0.229 \quad \text{semidispersione} = 0.01 \quad \Rightarrow \quad \mu_r = 0.23 \pm 0.01$$

Metodo 2: “moto uniformemente accelerato”.

Si sceglie un'inclinazione dello scivolo sufficiente far accelerare la rondella nella discesa. Si assume che si muova con moto uniformemente accelerato, dato che è soggetta a forze costanti.

Se l'inclinazione θ non è eccessiva, per esempio $17^\circ < \theta < 20^\circ$, la pista è abbastanza lunga da permettere la misurazione del tempo impiegato a percorrerne buona parte. Con velocità iniziale nulla, risulta $a = 2s/t^2$, dove a indica l'accelerazione, s la posizione raggiunta all'istante t , con $s = 0$ per $t = 0$.

$$\text{Dall'equazione : } \frac{2m_r s}{t^2} = m_r g \sin \theta - \mu_r m_r g \cos \theta \quad \text{si ricava l'incognita } \mu_r = \tan \theta - \frac{2s}{gt^2 \cos \theta}.$$

Gli scarti tra le misure dei tempi piuttosto brevi, sono intorno al 10 %.

Tabella 2 - moto accelerato.

$$\text{Spazio percorso } s = 0.80 \text{ m; } \mu_r = \tan \theta - \frac{2s}{gt^2 \cos \theta}$$

angolo θ ($^\circ$)	Tempo t (s)	μ_r
18	1.65	0.261865
18	1.25	0.215053
18	1.44	0.242133
18	1.78	0.270739
18	1.50	0.248623
18	1.72	0.266893
18	1.53	0.251586

$$\mu_{r,\text{medio}} = 0.251 \quad \text{semidispersione} = 0.03 \quad \Rightarrow \quad \boxed{\mu_r = 0.25 \pm 0.03}$$

NOTA 2 – *Il coefficiente di attrito dinamico tra rondella e scivolo non verrà utilizzato nel seguito. L'analisi del moto di discesa della rondella serve a far riflettere, anche sulla base di misure, sulle differenze tra il moto del magnete e quello della rondella.*

Risposta 2

Si lascia scendere il magnete lungo la pista con diverse inclinazioni. Dopo la partenza, il moto del magnete appare quasi subito uniforme. Lo si controlla sperimentalmente misurando e confrontando i tempi impiegati a percorrere spazi uguali, oppure doppi l'uno dell'altro.

Le forze applicate al magnete sono il peso, la reazione vincolare con attrito, e la forza frenante proporzionale alla velocità. La risultante di queste forze è diretta lungo lo scivolo ed ha intensità pari a

$$m_m g \sin \theta - \mu_m m_m g \cos \theta - kv$$

Con m_m , μ_m si indicano rispettivamente massa del magnete e coefficiente di attrito radente dinamico tra magnete e scivolo. Il fatto che la forza frenante cresca con la velocità, ha come conseguenza il raggiungimento di una velocità costante, detta velocità di regime, quando

$$kv = m_m g \sin \theta - \mu_m m_m g \cos \theta$$

Osservando il moto del magnete appare evidente che la velocità di regime è raggiunta quasi subito.

Le misure riportate in tabella 3 sono state ottenute, facendo partire il cronometro quando il magnete è a 5 cm dal punto di partenza. Si vede dai risultati sperimentali che questo percorso (5 cm) è più che sufficiente per raggiungere la velocità di regime. La velocità risulta la stessa nei tratti considerati di 40 e 80 cm, tenendo conto ovviamente delle incertezze delle sue misure. A proposito della fase transitoria della velocità, dal valore zero iniziale al valore di regime, vedi **NOTA 3** a pag. 4.

Poiché il moto, oltre che rettilineo, è uniforme, come mostrano i dati in tabella 3 riportati in dettaglio per l'inclinazione di 25° , la risultante delle forze applicate è nulla e risulta:

$$m_m g \sin \theta - \mu_m m_m g \cos \theta - kv = 0 \quad (3)$$

Tabella 3

Inclinazione θ ($^\circ$)	Spazio percorso (m)	Tempo impiegato (s)	Velocità (m/s)	Media delle velocità (m/s)	$\sin \theta - \mu_m \cos \theta$
25	0.40 ± 0.1	8.37	0.04779	0.048431	0.259483
	0.80	16.75	0.047761		
	0.40	8.11	0.049322		
	0.80	16.78	0.047676		
	0.40	8.18	0.0489		
	0.80	16.28	0.04914		
30	0.40	5.94 ± 0.05		0.0669 ± 0.0006	0.344115
	0.80	12.1 ± 0.1			
40	0.40	4.21 ± 0.05		0.093 ± 0.001	0.5049
	0.80	8.72 ± 0.1			
50	0.40	3.32 ± 0.05		0.119 ± 0.002	0.650343
	0.80	6.8 ± 0.1			
60	0.40	2.80 ± 0.05		0.143 ± 0.003	0.776025
	0.80	5.62 ± 0.05			
70	0.40	2.38 ± 0.05		0.167 ± 0.004	1.22173
	0.80	4.81 ± 0.05			

Si possono determinare i parametri k e μ_m , seguendo vie diverse.

Metodo 1. – Con due inclinazioni diverse θ e θ' , e velocità di regime rispettivamente v e v' , dalla (3) si ottiene un sistema di equazioni nelle due incognite k e μ_m .

$$kv = m_m g \sin \theta - \mu_m m_m g \cos \theta$$

$$kv' = m_m g \sin \theta' - \mu_m m_m g \cos \theta'$$

Con alcuni semplici passaggi si ottiene

$$\mu_m = \frac{v' \sin \theta - v \sin \theta'}{v' \cos \theta - v \cos \theta'}$$

$$k = m_m g \frac{\sin \theta \cos \theta' - \sin \theta' \cos \theta}{v \cos \theta' - v' \cos \theta}$$

$$k = m_m g \frac{\sin(\theta - \theta')}{v \cos \theta' - v' \cos \theta}$$

Tabella 4

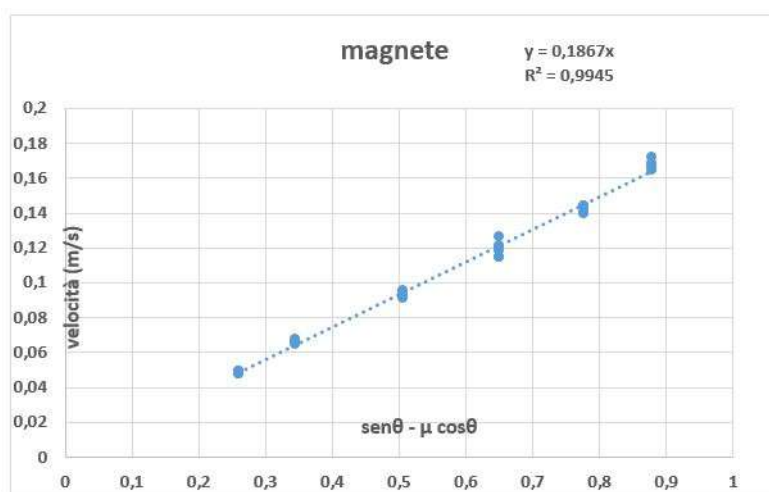
	μ_m	k (kg/s)
$\theta = 25^\circ \quad \theta' = 50^\circ$	0.1728	0.3014
$\theta = 30^\circ \quad \theta' = 60^\circ$	0.1487	0.3047
$\theta = 40^\circ \quad \theta' = 70^\circ$	0.2043	0.2857
	$\mu_m = 0.18 \pm 0.03$	$k = 0.30 \pm 0.01$

Gli scarti tra valori di μ_m e di k , risultano più elevati se si considerano coppie di angoli troppo vicini, che differiscano solo di 10° l'uno dall'altro. Addirittura si possono ottenere valori negativi per μ_m .

Metodo 2. – Una volta ricavato μ_m , con la formula del metodo 1 si può determinare k attraverso la relazione:

$$v = \frac{m_m g}{k} (\sin \theta - \mu_m \cos \theta)$$

Si costruisce un grafico con i valori di v in funzione di $[\sin \theta - \mu_m \cos \theta]$ (vedi quinta e sesta colonna della Tabella 2), si traccia la linea di tendenza rettilinea, se ne determina il coefficiente angolare $\gamma = m_m g/k$, e da questo si ricava k .

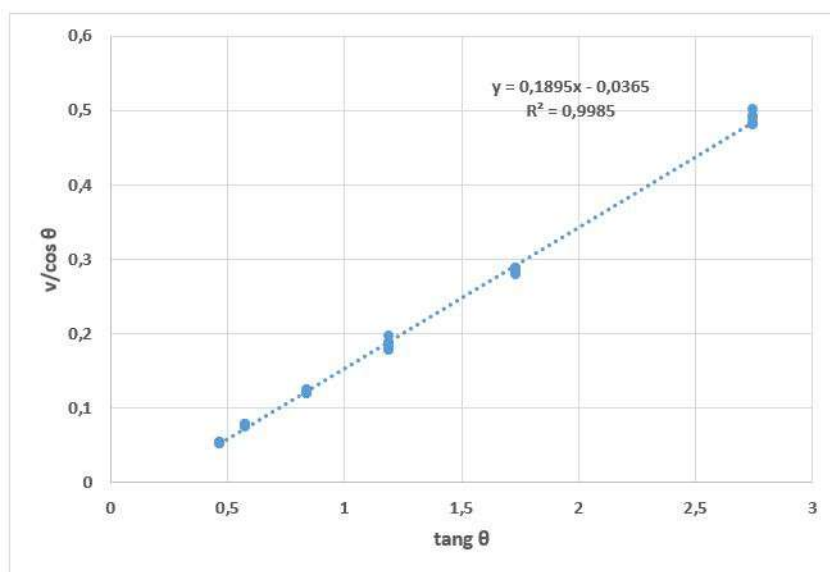


Dal coefficiente angolare γ della retta interpolatrice si ricava $k = m_m g/\gamma = 0.29 \text{ kg/s}$

Metodo 3. – Si dividono i due membri della (3) per $(k \cos \theta)$.

$$\text{Si ottiene } \frac{m_m g}{k} \tan \theta - \frac{\mu_m m_m g}{k} = \frac{v}{\cos \theta}$$

La funzione $v/\cos \theta$ dipende linearmente dalla variabile $\tan \theta$. Si riportano graficamente i valori di $v/\cos \theta$ in funzione di $\tan \theta$, si costruisce la linea di tendenza rettilinea, se ne determina il coefficiente angolare $\gamma = m_m g/k$, da cui si ricava k . L'intercetta $-\mu_m m_m g/k$, fornisce il valore di μ_m .



Dal grafico risulta, con $m_m = 0.0056 \text{ kg}$, $k = m_m g/\gamma \Rightarrow k = 0.29 \text{ kg/s}$

$$\mu_m = 0.0365 \frac{k}{m_m g} = \frac{0.0365}{0.1895} \Rightarrow \mu_m = 0.19$$

Da grafico analogo eseguito a mano su carta millimetrata si ricava

$$\Rightarrow k = (0.29 \pm 0.1) \text{ kg/s}; \quad \mu_m = 0.19 \pm 0.1$$

NOTA 3 – La seconda legge della dinamica applicata alla discesa del magnete sullo scivolo si traduce nell'equazione differenziale:

$$m_m \frac{dv}{dt} = m_m g (\sin \theta - \mu_m \cos \theta) - kv$$

Con la condizione iniziale $v(0) = 0$, la soluzione è

$$v = \frac{m_m g}{k} (\sin \theta - \mu_m \cos \theta) [1 - \exp(-kt/m_m)]$$

$$\text{Per } t \rightarrow \infty, \quad v \rightarrow \frac{m_m g}{k} (\sin \theta - \mu_m \cos \theta)$$

La “costante di tempo” è $\tau = m_m/k$. Per raggiungere una velocità pari al 63% della velocità di regime, è necessario un tempo τ , che risulta, con $m_m = 0.0056 \text{ kg}$ e $k = 0.29 \text{ kg/s}$, $\tau = 0.019 \text{ s}$. Dopo un tempo triplo, pari a 0.056 s viene raggiunto il 95% della velocità di regime.

Nei circa 6 centesimi di secondo in cui viene raggiunta buona parte della velocità di regime, viene percorso uno spazio che all'inclinazione di 70° risulta inferiore al centimetro.

Risposta 3

Si misura la durata di 5 o più oscillazioni complete della coppia di magnetini rossi, con magnete a disco il più lontano possibile, così che i magnetini rossi siano immersi nel solo campo magnetico terrestre o, per meglio dire, nel campo magnetico ambientale.

Tabella 5

n. oscillazioni	Tempo (s)	Periodo (s)
10	10.86	1.086
20	21.62	1.081
10	10.86	1.086
20	21.72	1.086
10	10.81	1.081
20	21.60	1.080

Media aritmetica dei periodi = 1.0833 s ; semidispersione = 0.003 s

Periodo $\Rightarrow T_0 = (1.083 \pm 0.003) \text{ s}$

NOTA 4 – I periodi T_0 delle varie coppie di magneti distribuiti per questa prova sperimentale sono compresi tra 0.8 s e 1.3 s .

Risposta 3

Lunghezza del pendolo semplice con periodo uguale a T_0 : $\ell = gT_0^2/(4\pi^2)$; $\Rightarrow \ell = (0.291 \pm 0.002) \text{ m}$

Risposta 4

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{MB}} \quad (4)$$

Dalla (4) si ricava $B = \frac{4\pi^2 I}{MT^2}$

Con \vec{B}_m e \vec{B}_T concordi:

$$B = B_m + B_T \Rightarrow B_m = B - B_T \Rightarrow B_m = \frac{4\pi^2 I}{MT^2} - \frac{4\pi^2 I}{MT_0^2}$$

$$\frac{B_m}{B_T} = \frac{1/T^2 - 1/T_0^2}{1/T_0^2} \Rightarrow \frac{B_m}{B_T} = \frac{T_0^2}{T^2} - 1$$

Con \vec{B}_m e \vec{B}_T discordi, e $B_T > B_m$,

$$B = B_T - B_m \Rightarrow B_m = B_T - B \Rightarrow \frac{B_m}{B_T} = 1 - \frac{T_0^2}{T^2}$$

Con \vec{B}_m e \vec{B}_T discordi e $B_T < B_m$,

$$B = B_m - B_T \Rightarrow B_m = B_T + B \Rightarrow \frac{B_m}{B_T} = 1 + \frac{T_0^2}{T^2}$$

Risposta 5

Si sistemano la coppia di magneti rossi e il metro di carta come indicato nel testo.

Si fissa lo zero del metro di carta proprio sotto il centro della coppia di magneti, con il magnete a disco tenuto lontano.

Le eventuali piccole oscillazioni in un piano verticale come pendolo semplice non disturbano la misurazione delle durate delle oscillazioni. Il disturbo in presenza di battimenti o di risonanza, si manifesta quando i periodi dei due tipi di oscillazioni sono vicini o addirittura uguali. La lunghezza del pendolo semplice corrispondente a $T_0 = 1.083\text{ s}$ è di 29 cm. Nelle successive misurazioni, se B_m e B_T sono concordi, con l'aumento del campo B risultante rispetto a B_T , il periodo diminuisce e la lunghezza da evitare diventa minore di 29 cm, e quindi sarà sempre minore della lunghezza del filo che è circa uguale alla distanza del piano del tavolo dal pavimento.

Se invece si fa l'analoga misurazione con campi discordi, può capitare di notare battimenti o addirittura risonanza, dato che il periodo delle oscillazioni aumenta e quindi anche la lunghezza del pendolo semplice corrispondente. Con la risonanza, il piano delle oscillazioni da orizzontale diventa verticale e viceversa.

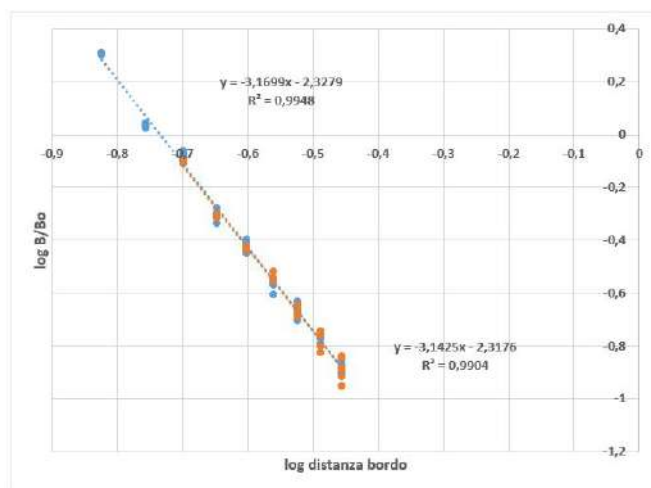
Per controllare che l'effetto della forza \vec{F} sulla coppia di magnetini rossi sia trascurabile, si può procedere nel modo seguente. Con il magnete a disco tenuto lontano, lo zero delle distanze è stato fissato proprio sotto il centro della coppia di magneti. L'uniformità del campo magnetico terrestre garantisce la verticalità del filo. Si avvicina il magnete a disco al pendolo, lungo il nastro di carta che è sul meridiano magnetico, e contemporaneamente si osserva dall'alto la posizione del centro del pendolo sul metro di carta. Si continua ad avvicinare il disco fino a che tale posizione non cambia in modo apprezzabile spostandosi dallo "0" di circa 1 mm.

Tabella 6

Campi concordi						
z (cm)	Numero oscill.	Tempo	Periodo T (s) media aritm. ± 0.003	B_m/B_T	$\log B/B_T$	$\log \sqrt{R^2 + z^2}$
15.0	10 20 10 20 10 20	6.24 12.47 6.21 12.44 6.24 12.5	0.623 ± 0.002	2.020	0.305	-0.823
17.5 20.0 22.5 25.0 27.5 30.0 32.5 35.0	10 - 20		0.750 0.801 0.886 0.922 0.960 0.980 1.002 1.018	1.086 0.828 0.496 0.379 0.272 0.221 0.169 0.132	0.036 -0.082 -0.305 -0.422 -0.565 -0.657 -0.773 -0.881	-0.756 -0.699 -0.648 -0.602 -0.560 -0.523 -0.488 -0.458
Campi discordi						
z (cm)	Numero oscill.	Tempo	Periodo T (s) media aritm. ± 0.003	B_m/B_T	$\log B/B_T$	$\log \sqrt{R^2 + z^2}$
20.0 22.5 25.0 27.5 30.0 32.5 35.0			0.235 1.515 1.366 1.280 1.222 1.185 1.161	0.787 0.489 0.371 0.285 0.215 0.164 0.130	-0.104 -0.311 -0.430 -0.546 -0.666 -0.787 -0.887	-0.699 -0.648 -0.602 -0.560 -0.523 -0.488 -0.456

Si ricava dalla formula (2) del testo

$$\log(B_m/B_T) = \log A + x \log \left(\sqrt{R^2 + z^2} \right)$$



Il grafico di $\log(B_m/B_T)$ in funzione di $\log(\sqrt{R^2 + z^2})$ risulta pressoché rettilineo. Il coefficiente angolare della linea di tendenza corrisponde all'esponente x richiesto: $x = 3.16 \pm 0.01$. Dal grafico eseguito manualmente su carta millimetrata, risulta $x = 3.2 \pm 0.2$.

NOTA 4 – Il campo B_s creato in aria (permeabilità magnetica μ_0) da una spira circolare di raggio R , percorso dalla corrente I , lungo un asse z perpendicolare al piano della spira e passante per il suo centro è

$$B_s = \mu_0 I R^2 / (2\sqrt{(R^2 + z^2)^3})$$

Per avere un campo di intensità pari a quella di B_m a parità di distanza z , la corrente I nella spira dovrebbe valere più di 4000 A!

[1] Chris Gaffney and Adam Catching, "Magnetic viscous drag for friction labs", Phys. Teacher 54, **335** (2016)

per provare a rifarlo...

Indicazioni sui materiali da procurarsi per ripetere l'esperienza:

- Canalina: Profilato ad U di Alluminio anodizzato, larghezza base 40 mm, altezza bordi 10 mm, spessore 2 mm, lunghezza 1 m
- Magnete a disco: "Volleman Hobby" al Neodimio, nichelato, valori N35-N45, diametro 18 mm, spessore 3 mm
- Coppia di magneti giocattolo al Neodimio, comunemente chiamati "Geomag", di lunghezza 15 mm ciascuno

Materiale elaborato dal Gruppo



PROGETTO OLIMPIADI
Segreteria delle Olimpiadi Italiane di Fisica

e-mail: segreteria@olifis.it
WEB: www.olifis.it



NOTA BENE

È possibile utilizzare, riprodurre, distribuire, comunicare al pubblico questo materiale alle due seguenti condizioni: citare la fonte; non usare il materiale, nemmeno parzialmente, per fini commerciali.